

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁶

F02F 1/00

F02F 1/20 F02F 5/00

F16J 10/04 C23C 4/00

C23C 4/06

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 97196212.X

[43]公开日 1999年8月4日

[11]公开号 CN 1225152A

[22]申请日 97.11.25 [21]申请号 97196212.X

[30]优先权

[32]96.12.5 [33]DK [31]1384/96

[86]国际申请 PCT/DK97/00539 97.11.25

[87]国际公布 WO98/25017 英 98.6.11

[85]进入国家阶段日期 99.1.7

[71]申请人 曼 B 与 W 狄赛尔公司

地址 丹麦哥本哈根

[72]发明人 莱赫·莫丘尔斯基

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事
务所

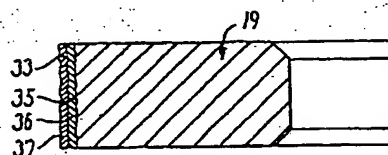
代理人 马江立

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图页数 2 页

[54]发明名称 柴油内燃机的气缸元件,如缸套、活塞、活
塞裙部或活塞环和用于这种内燃机的活塞
环

[57]摘要

在满负荷时最大燃烧压力超过 100 巴的柴油机式内
燃机使用的气缸元件具有两个铝青铜涂层,一层喷涂在
另一层的上面,外层为磨合层(37),其平均硬度至多为
330HV20,而内层为耐磨层(36),其平均硬度比磨合层
高并且至少为 130HV20。



ISSN 1000-8427 4

7. 按照以上权利要求中任一项的气缸元件, 其特征为, 铝青铜涂层含有以体积计为 1 到 30% 的氧化物, 在磨合层(37)内, 氧化物的含量最少, 最好以体积计小于 10%, 而在磨合层下面的耐磨层中, 氧化物的含量以体积计至少为 2%, 最好以体积计至少为 10%.
8. 按照以上权利要求中任一项的气缸元件, 其特征为, 铝青铜涂层一个叠接一个地喷涂, 一个涂层在喷涂好以后接受能增加硬度的机械作用, 然后再喷涂下一个涂层, 并且最好在最后涂层上不进行减少粗糙度的机械加工.
9. 柴油机式内燃机, 特别是两冲程十字头型发动机中的活塞环(19), 该发动机在满负荷时的最大燃烧压力超过 100 巴, 其活塞(5)设有数个活塞环并在缸套(1)内作往复运动, 冲程至少为 750mm, 活塞环装在环状槽内时的外直径至少为 150mm, 每一环状槽在轴向上的高度超过活塞环的高度, 每一活塞环都有一个可沿着缸套的内表面(13)滑动的径向外表面, 活塞环在其径向外表面上具有至少一个热喷涂层, 其特征为, 所述至少一个喷涂层(32)为铝青铜层, 铝青铜涂层的总的厚度至少为 0.05mm, 而在最外面的一层为磨合层, 其平均硬度至多为 330HV20.
10. 按照权利要求 9 的活塞环, 其特征为, 最外面涂层(32)的硬度可用机械方法增加.

权 利 要 求 书

1. 柴油机式内燃机、特别是两冲程十字头型发动机中的气缸元件，如缸套(1)、活塞(5)、活塞裙部(41)、或活塞环(19)，该发动机在满负荷时的最大燃烧压力超过 100 巴，其活塞设有数个活塞环并在缸套内作往复运动，冲程至少为 600mm，活塞环装在环状槽内时的外直径至少为 150mm，每一环状槽在轴向上的高度超过活塞环的高度，每一活塞环都有一个可沿着缸套的内表面(13)滑动的径向外表面，气缸元件至少在其侧表面的一部分上具有至少一个热喷涂层，其特征为，气缸元件(1、5、19、41)被喷涂有至少两层铝青铜，其中最外面的一层为磨合层(37)，其平均硬度至多为 330HV20，而在其下面的一层(36)为耐磨层，其平均硬度比磨合层高，并且至少为 130HV20。
2. 按照权利要求 1 的气缸元件，其特征为，铝青铜的耐磨层为一中间层(36)，位在磨合层(37)和在下面的耐磨层(43)之间，后一耐磨层(43)的硬度比中间层高。
3. 按照权利要求 1 或 2 的气缸元件，其特征为，铝青铜的磨合层(37)具有以体积计为 0.2 到 40% 的孔隙度。
4. 按照权利要求 1—3 中任一项的气缸元件，其特征为，设有两到七层性能各异的铝青铜层，各层厚度从 0.02mm 到 2.5mm，最好从 0.10 到 1.0mm。
5. 按照权利要求 1—4 中任一项的气缸元件，其特征为，铝青铜合金以重量百分比计，除了常见的杂质外，含有 2 到 20% 的 Al 及在组分 Sb、Co、Be、Cr、Sn、Mn、Si、Cd、Zn、Fe、Ni、Pb 和 C 中任选的一种或多种，就各个组分的数量而言，Sb 至多 5%、Co 至多 5%、Be 至多 5%、Cr 至多 5%、Sn 至多 15%、Mn 至多 5%、Si 至多 15%、Cd 至多 2%、Zn 至多 15%、Fe 至多 5%、Ni 至多 20%、Pb 至多 20%、C 至多 2%，余量由至少 50% 的 Cu 构成。
6. 按照权利要求 5 的气缸元件，其特征为，该合金含有 9 到 10% 的 Al，0 到 1% 的 Fe，其余为 Cu。

说明书

柴油内燃机的气缸元件，如缸套、活塞、 活塞裙部或活塞环和用于这种内燃机的活塞环

本发明涉及柴油机式内燃机、特别是两冲程十字头型发动机中使用的气缸元件，如缸套、活塞、活塞裙部或活塞环，该发动机在满负荷时的最大燃烧压力超过 100 巴，其活塞设有数个活塞环，并在缸套内作往复运动，冲程至少为 600mm，活塞环装在环状槽内时的外直径至少为 150mm，每一环状槽在轴向上的高度超过活塞环的高度，每一活塞环都有一个径向外表面可沿着缸套的内表面滑动，该气缸元件至少在其侧表面的一部分上敷设有至少一个热喷涂层。

当今设计的柴油机式两冲程十字头型发动机可在很高的最大燃烧压力下运转，它会在气缸元件上产生非常高的载荷，部分因为当用活塞环来阻止燃烧室内的压力向活塞下方扩散时越过这些环的压力差必然很高，部分因为燃烧产生的高压还伴随着非常高的温度，而该高温对摩擦状态具有负面影响，因此当气缸元件互相滑动时较易咬住，从而会损坏气缸元件特别是活塞环和缸套。为了对高压密封，活塞环作用在缸套内表面上的对接压力必然需要提高，这会导致活塞环更容易穿透润滑油膜，致使在某些区域活塞环在缸套的内表面上干滑。

本申请人的专利公开 WO95/21994 号曾说明一种缸套，其内表面上敷设有几个性能各不相同的涂层，即最内面的硬质耐磨层、中等硬度的中间层、和由另一种材料构成的较软的磨合层。就可涂敷的材料而言曾经提出，对最内层，可用一个含有铬、镍和钼的较软的金属基体及以碳化物、氧化物或氮化物的形式埋入其内的硬质微粒。对中间层可用钼和预先氧化过的钼的混合物。而对磨合层可用金属覆盖的石墨珠任选地与一种软材料如银混合。对气缸元件最外面的覆盖层(涂覆层)采用不同的材料会引起该层对直接在其下的材料能否足够良好地粘结的问题。首先喷涂的一层必须与通常为铸铁、铸钢或钢的气缸元件的基体材料粘结，而随后的一层或多

层必须与直接在其下的一层粘结，该层可能具有与随后层的性能差异较大的性能。另外一个缺点是用于最外层的材料都是比较贵的。

美国专利 5 080 056 号曾说明一种四冲程发动机，其气缸体是由 319 铝合金制成的，并设有数个孔构成发动机的气缸。气缸的内表面设有一个铝青铜合金的硬质耐磨层，该层可用 HVOF 技术喷涂在其上，以提供一个完全致密而坚硬的覆盖层。铝青铜在这里被认为特别合适，因为它与铝制活塞配合具有良好的滑动性能。说明中认为重要的是，覆盖层是致密的，基本上没有微孔。覆盖层涂敷的厚度可达 0.1mm，在涂敷后，覆盖层的厚度中的大约三分之一是被珩磨去除的。

与本发明有关的具有很高最大压力的大型发动机的情况显然与四冲程发动机的情况不同。在四冲程的汽油机中，最大压力为 40 巴左右，而在柴油机中，使用的最大压力为 80 巴左右。另外，四冲程机的发动机气缸体、活塞和活塞环是由轻金属制成的，而大型发动机的缸套、活塞、活塞裙部和活塞环通常是由铸铁、铸钢或钢制造的，以便能承受巨大的压力和温度的影响。所用材料的差异使喷涂在其上的覆盖层的性能难于互相比较，这是因为铸铁和钢与轻金属如铝相比，在摩擦状态、粘结状态、对热影响的反应等方面都有相当大的差异。

本发明的目的是要提供一种气缸元件，它具有材料费用较低的覆盖层，该覆盖层能很好地粘结在气缸元件上，并具有良好的磨合和运行性能。

为了这个目的，气缸元件被喷涂至少两层铝青铜，一层叠接在另一层的上面，其中最外面的一层为磨合层，其平均硬度至多为 330HV20，而直接在其下面的一层为耐磨层，其平均硬度超过磨合层的硬度，并且至少为 130HV20。

采用与其下面的耐磨层相同型式的合金来构成磨合层可使磨合层极好地粘结在其下层上，从而可防止磨合层的被撕裂或刮掉成为碎片。铝青铜的表面具有良好的滑动性能并能提供良好的摩擦状态，可以防止咬住。铝青铜的软磨合层可在气缸元件上提供这样一个表面，使在磨合一个新的气缸元件时不会发生咬住现象，不仅气缸元件本身不会，而且在活塞

作往复运动时与气缸元件对接并沿着它滑动的元件的表面也不会咬住。

用来敷设(施加)磨合层的铝青铜的起始材料的费用只是含石墨的起始材料的费用的约一半,这意味着可用比已知磨合层更经济、显然更有利的方式来制造磨合层。另外,通过适当控制涂敷条件,如在热喷涂时所用载体或保护气体的成分,可使铝青铜多少变硬。再者,涂敷层的硬度可用适当的后处理来调整,这将在下面更详细地说明。这样便可控制铝青铜层的性能,使位在磨合层下面的铝青铜层作为真正的耐磨层。这种耐磨层的材料费用显然也低于上述含钼型式的耐磨层的费用。

在磨合气缸元件时有时在覆盖层的表面上会出现擦痕,采用铝青铜可使擦痕不会发展成为咬住(卡住),因为咬住是以局部温度高度增加为特征的,而铝青铜在达到其自身的熔点以前都可具有润滑性能。

最好,铝青铜的耐磨层为一中间层,位在磨合层和在下面的具有比中间层更高硬度的耐磨层之间。下面的耐磨层也可由铝青铜构成,或者它可以由另一种硬而耐磨的材料构成,如含有埋入在金属基体内的形式为碳化物、氧化物或氮化物的硬质颗粒的材料,例如瑞典商家 DAROS AB 以商品名 PM2、PM10、PM14、PM20、PM28 或 L1 供售的材料。这种喷涂层的建立可有效地应付气缸元件的磨耗,因为在磨耗时,具有更高耐磨性的更硬材料会暴露出来。

铝青铜的磨合层可适当地具有以体积计的从 0.2 到 40% 的孔隙度,这样在铝青铜的表面上就有许多由材料微孔产生的凹坑。这些凹坑通常精细地分布在表面上,在发动机运转时它们会捕获一部分供应到该表面的润滑油。而当没有润滑油从外界分配到该表面时,存储在凹坑内的润滑油可散布开来使气缸元件保持润滑。这种作用对活塞环特别有利,因为活塞环本身并无润滑油供应。

有一实施例采用两到七层性能各异的铝青铜层,各层厚度从 0.02mm 到 2.5mm,最好从 0.10 到 1.0mm。采用单层厚度在上述范围内的好几层便有可能按照所需用途来仔细适配覆盖层的性能。例如活塞裙部可只需要少数较薄的层,而活塞在最上面活塞环以上的区域内的涂层可具有基本较大的厚度。在缸套内表面上的涂层数目可适宜地使硬度通过涂层均匀地

增加, 涂层数目因此可比活塞环外表面上的高。在层厚上具有基本相同性能的每一层可在均一的喷涂条件下用好几次喷涂把它们累积起来一直达到所需的层厚为止。

铝青铜合金以重量百分比计, 除了常见的杂质外, 可含有 2 到 20% 的 Al, 及在组分 Sb、Co、Be、Cr、Sn、Mn、Si、Cd、Zn、Fe、Ni、Pb 和 C 中任选的一种或多种, 就各个组分的数量言, Sb 至多 5%、Co 至多 5%、Be 至多 5%、Cr 至多 5%、Sn 至多 15%、Mn 至多 5%、Si 至多 15%、Cd 至多 2%、Zn 至多 15%、Fe 至多 5%、Ni 至多 20%、Pb 至多 20%、C 至多 2%, 余量由至少 50% 的 Cu 构成。这样, Cu 和 Al 的最小量为 52%, 而其他组分的总量最大为 48%, 并且最好限制到 25%。

添加 Cr、Sb 和 C 由于形成碳化物能增加合金的硬度, 这些组分典型地被添加在下面的用作耐磨层的涂层内。

添加 Zn、Be、Co、Si 和 Ni 能增加合金的强度, 并使它有可能通过机械方法如喷砂、喷丸、或滚轧增加涂层硬度。

添加 Cd 可提高合金的再结晶温度并增加其强度。添加 Mn 可增加合金的硬度并使它更耐高温。添加 Fe 可增加合金的硬度, 而添加 Pb 可在重载荷下给予涂层有利的性能, 因为 Pb 能起到固态润滑剂的作用。添加 Sn 可提高耐腐蚀性并减少合金的脆性, 同时能使它在机械方法的作用下增加硬度。

一种特别适用于磨合层的合金具体含有 9 到 10% 的 Al, 0 到 1% 的 Fe, 其余为 Cu。这种合金的硬度主要是由喷涂时所用气体成分造成的氧化物含量来控制的。采用惰性气体如氩时, 氧化物的生成受到抑制, 该合金可变得很软。

在一实施例中, 合金的氧化物含量被用来控制涂层的硬度, 此时气缸元件上的铝青铜涂层含有以体积计为 1 到 30% 的氧化物, 在磨合层内, 氧化物的含量最少, 最好以体积计小于 10%; 而在磨合层下面的耐磨层中, 氧化物的含量以体积计至少为 2%, 最好以体积计至少为 10%。在下面的一层或几层涂层中的较高的氧化物含量可使它们具有比磨合层更高

的硬度。

作为用氧化物含量控制硬度的替代或补充，气缸元件上的铝青铜涂层在一个叠接一个地喷涂时，一个涂层在喷涂好以后可使它接受能增加硬度的机械作用，然后再喷涂下一个涂层，并且最好在最后涂层上不进行减少粗糙度的机械加工。上面我们曾提到过用不同的机械作用来提高喷涂层硬度的例子。将不同的机械作用的型式与合金内所含的上述一个或多个组分 Zn、Be、Co、Si 和 Ni 结合起来，便可使铝青铜覆盖层的各层的硬度在较大范围内变化。采用这种方式，例如可使硬度在 50 和 500HV20 的范围内变化。

这种气缸元件的特殊优点是，最后的喷涂层可不需要精加工如珩磨，这种工序对本发明的大型气缸元件来说是费钱的。

本发明还涉及柴油机式内燃发动机、特别是两冲程十字头型发动机中使用的活塞环，该柴油机式发动机在满负荷时的最大燃烧压力超过 100 巴，其活塞设有数个活塞环并在缸套内作往复运动，冲程至少为 750mm，活塞环装在环状槽内时的外直径至少为 150mm，每一环状槽在轴向上的高度都比活塞环的高度高，每一活塞环都有一个径向外表面可沿着缸套的内表面滑动，而在其径向外表面设有至少一个热喷涂层。

为了使所生产的活塞环能有利地以较低的材料费用敷设覆盖层而该覆盖层能很好地与气缸元件粘结并产生良好的磨合和运行性能，按照本发明的活塞环的特征为，其上至少有一层铝青铜喷涂层，铝青铜覆盖层的总厚度至少为 0.05mm，最外面的一层为磨合层，其平均硬度至多为 330HV20。在活塞环上，铝青铜的覆盖层可以是单层或数层，它或它们被直接喷涂在活塞环的铜、铸钢或铸铁的基体材料上，或者被喷涂在下面的另一种耐磨材料的喷涂层上，该耐磨材料例如可以是 Daros 型号 PM2、PM10、PM14、PM20、PM28 或 L1 中的一种。最外面的铝青铜涂层可起到防止咬住的磨合层的作用，它使快速磨合新活塞环成为可能，这在下面还要详细说明。

在活塞环初始磨合期间，活塞环的径向外表面被磨成带小平面的形状。由于环状凹槽比活塞环高，活塞环能在各自的环状凹槽内沿轴向运

动,在越过活塞环的大压力差的影响下,活塞环会在凹槽内倾侧或略微被扭转,因此在活塞进行往复运动时活塞环的外表面与缸套的内表面将形成一个变动的角度。随着活塞环最初的许多次倾侧,其上边或下边将以极小的区域与缸套的内表面对接,连同极其高的表面压力,造成活塞环材料快速被磨掉,这大概是因为环边暂时穿透缸套内表面上的油膜的原故。随着活塞环的径向外表面变成带小平面的形状,对接面积被增大,表面压力就可降低到油膜被穿透的限度之下。

铝青铜的磨合层可防止咬住的发生,至少可一直维持到活塞环的外表面被磨出带小平面的形状,这样活塞环便可充分加载而不会穿透在活塞环的外表面和缸套的内表面之间的润滑油膜。

在活塞环上只用一个铝青铜单层的情况下,这个最外面层可用上面结合设有数层性能各不相同的铝青铜的气缸元件而说明的机械方法来增加其硬度。

现在结合附图对本发明的实例作较详细的说明,在附图中:

图1为通过缸套最上部的纵向剖视图,其中活塞和活塞环都在上死点上,

图2为通过活塞环的剖视图,该活塞环是在铸造的环材料上直接涂敷一个铝青铜磨合层,

图3为通过活塞环的另一实施例的剖视图,该环是在喷涂在铸造环材料上的硬质耐磨层的顶面上涂敷一个铝青铜磨合层,

图4为活塞和活塞裙部的片段的侧视图,两者按照本发明都涂有一层铝青铜,

图5为缸套的片段的剖视图,其上涂有三层铝青铜。

图1示出一台大型两冲程十字头型发动机的缸套1的最上部,该发动机可被用作驱动发电机的固定发动机或者作为船舶的推进发动机。根据发动机的尺寸,缸套可被制成不同的尺寸,气缸孔典型的尺寸为从250mm到1000mm,缸套相应的典型长度为从1000mm到4500mm。但也可将本发明应用到气缸孔为150到250mm的两冲程十字头型发动机上,在这种情况下缸套的长度可降至500mm。缸套通常由铸铁、钢或铸钢制成,在

其内表面上设有一个喷涂的耐磨层,缸套可以是整体的或分成两个部分在长度上互相连结在一起.在分开的缸套内也可能用另一种与下部不同的基体材料来制成上部.

缸套以公知的方式装在发动机内,图上只是部分示出,由一环状的、面向下的表面 3 定位在发动机框架箱或气缸体内的顶板 4 上,活塞 5 被装在缸套内,缸盖 6 被安排在缸套顶部的环状的、面向上的表面 7 上,并用图上未示出的缸盖螺栓夹紧到顶板上.

缸套的下部设有图上未示出的环状排列的扫气空气口.活塞可沿缸套的纵向在上死点和下死点之间移动,在上死点,活塞的上表面 9 位在缸盖 6 的孔内,而在下死点,活塞的上表面 9 位在扫气空气口下端的紧下方.

通过活塞杆 10、十字头和连杆,活塞以公知的方式与发动机的曲轴连接.每当曲轴旋转 360° , 活塞就从下死点移动到上死点并再返回.

缸套在表面 3 和 7 之间的上部被制成具有较大的外直径,而在这个部分的顶部有许多细长的冷却孔 14 从一在外面的凹槽 15 钻入到缸套的壁内,使得这些直的冷却孔的纵轴相对于缸套的纵轴而沿倾斜或歪曲的方向延伸.

在缸套的内表面 13 上可设有一个或多个热喷涂在其上的硬质耐磨层,该耐磨层可以只由铝青铜构成,或者是多个铝青铜层再补以一个或多个更硬的、在下面的耐磨层.这些更硬的耐磨层可由陶瓷或陶瓷与金属的混合物,即所谓金属陶瓷制成,或者是一个有极硬的颗粒埋入在一较软的金属基体内的耐磨层.该基体例如可包括 Cr、Ni 和/或 Mo, 而该硬质颗粒例如可包括碳化物、氮化物、硼化物和/或氧化物.缸套在其内表面可被制成波顶被除去的波状模样(花纹).所说模样可在缸套的整个内表面上制出,也可以只在缸套的上部制出,该上部例如在活塞向下冲程的第一个 40% 时活塞环所扫过的部分.该上部也可以具有其他的相对尺寸,如 20%、25%、30% 或 35% 或它们之间的中间值.波状模样有助于在活塞环和缸套内表面之间保持最佳可能的润滑条件,因为润滑油能被收集在波沟的底部以便用来供给沟间的台地.当新活塞环在缸套内被磨合时,活塞环的外表面在近乎平面的台地上滑动.

在图 1 中活塞 5 是在上死点上。该活塞设有四个活塞环 19，其中上活塞环为一标准斜切环或一个气密式环，也就是气体基本上不能从环的分离处通过。这一点可以做到，例如使环的一端有一扁平的突部，使它插入到另一端的相应凹槽内。在顶部以下的第二和第三活塞环及底活塞环可用传统的斜切环，其分离处形成一个间隙，在环的上、下表面之间沿着倾斜于圆周的方向延伸，或者可用近似气密式的环。

图 2 中的活塞环 19 具有一个由铸铁、铸钢或钢铸造的活塞环体 30，在其径向外表面 31 上用热喷涂敷设有铝青铜的磨合层 32，其厚度至少为 0.05mm，最好至少为 0.14mm。图 3 中的活塞环 19 具有一个由钢或铸钢铸造的活塞环体 34。由于该环体不是由铸铁制成的，在其钢的径向外表面 35 上必需敷设一个耐磨层 36，该耐磨层的材料须在缸套的内表面上有令人满意的滑动性能，例如一个或多个铝青铜耐磨层和/或一个由上述材料 PM2、PM10、PM14、PM20、PM28 或 L1 制成的耐磨层。在该耐磨层的径向外表面 33 上，用热喷涂敷设一个厚度至少为 0.05mm 的铝青铜磨合层 37。在活塞环上的磨合层也可具有一个较大的厚度，如从 0.1 到 3.0mm，但最好至多为 2.00mm。

图 4 示出活塞 5 的片段，中部已被略去。在该活塞的径向外表面的上部 38，即从最上面活塞环的环状槽向上延伸到一个用来安装活塞提升工具的凹槽 39 的那个部分，用热喷涂将一铝青铜的软层 40 涂敷在其上，厚度从 0.05 到 5mm，最好至少为 0.4mm。该层的最外部的作用为一个磨合层，该层可具有与活塞环所用磨合层相同的成分。

有一活塞裙部 41 用螺栓固紧到活塞的下表面上。活塞裙部的外表面上用热喷涂敷有铝青铜的磨合层 42，其厚度至少为 0.05mm，最好至少为 0.14mm。在这磨合层的下面可以是一个或多个铝青铜的耐磨层。

图 5 示出缸套 1 的一个片段，该缸套设有一个在最里面的较硬的铝青铜耐磨层 43，在其上面为一铝青铜的中间耐磨层 36，而在其最外面为一铝青铜的磨合层 37。

用热喷涂将材料层喷涂到圆形物体上是众所周知的方法。这个热喷涂例如可以是火焰喷涂、等离子喷涂、HVOF 喷涂或电弧喷涂。关于喷涂

的各种方法, 例如在 EP-B O 341 672、EP-A O 203 556、WO95/02023 和 WO95/21994 中都有说明。从原理上讲, 喷涂对各种不同的气缸元件都是按同一方式进行的, 使喷涂设备和气缸元件相对旋转便可开始喷涂, 继续按均一的喷涂条件进行, 反复移动越过气缸元件的表面一直到喷涂在其上的涂层堆积起所需的厚度为止。当要接下来喷涂下一层时, 程序重复进行, 但喷涂条件须能赋予这一层所需的性能。下面给出在气缸元件上喷涂的一个具体实例。

实例 1

用 METCO 生产的标准等离子喷涂装置在内直径为 600mm 的缸套的内表面上敷设一层铝青铜。喷头和缸套内表面之间的距离为 115mm, 所用电流强度为 500A。喷头和缸套之间的相对转速被设定为 27rpm, 在缸套纵向上的进给被设定为 7mm/每转。含有 9%Al、1%Fe、其余为 Cu 的合金的粉末状起始材料以 95g/分的速率供应, 每次经过内表面在其上沉积一个 0.02mm 厚的涂层。采用氮作为载体气体。涂层被堆积到厚度为 0.1mm, 然后用滚轧工具滚轧该涂层。滚轧后测得涂层的平均硬度为 360HV20。然后采用相同的工艺条件喷涂第二层。这一层被喷砂, 事后测得涂层的平均硬度为 320HV20。随后采用相同的工艺条件喷涂第三层。这一层用小钢珠喷丸, 其后测得涂层的平均硬度为 280HV20。最后将磨合层喷上, 不再接受后处理。这一层的平均硬度测得为 180HV20。

然后将该缸套装到发动机内并与带一组标准活塞环的活塞一同磨合。发动机的正常的最大燃烧压力为 145 巴。在 15% 载荷进行半小时的初始运行后将载荷在 15 分钟内提高到 100%, 然后继续运行一小时, 使该发动机停止, 检查缸套。在缸套的内表面上没有观察到实际咬住的迹象。

实例 2

四个外直径正好在 600mm 之下的铸铁活塞环被边靠边地设置, 并用与实例 1 中所用型式相同的喷涂装置和相同的喷涂条件, 在铸铁活塞环上涂敷铝青铜覆盖层, 采用氮为载体气体。铝青铜涂层被堆积到大约 0.15mm 的厚度, 进行喷砂, 测得的涂层的平均硬度为 315HV20。将活

塞环分开，不再进行另外的后处理，将活塞环装在与实例 1 相同的发动机内的一个标准缸套中的活塞上。以与实例 1 中所说相同的方式进行磨合，只是在 100% 的载荷运行 1.5 小时。在磨合后的检查确定活塞环上并无咬住迹象，而磨合层的厚度被减少到平均为 0.08mm。在活塞环的外表面上还可观察到磨出的小平面。这表明继续用该活塞环运行时不会发生咬住现象。

如果在铝青铜内需要较多的能增加硬度的氧化物，那么在喷涂时可用压缩空气即压缩大气中的空气代替氩气作为载体气体。如果需要尽可能多地限制氧化物的数量，或者因为要使涂层变软，或者因为希望硬度主要由合金成分的变形硬化造成，那么可用惰性的载体气体如氦。

如上所述，大数目的不同的铝青铜层可敷设在气缸元件上。最好沿背离气缸元件外表面的方向使涂层的硬度增加，而且从一层到下一层平均硬度的增加至少 20HV20。在最里面的涂层具有最高的硬度，而硬度可通过在铝青铜内添加能增加硬度的合金成分结合涂层的机械加工来全部或部分产生。如果需要很软的最外面的磨合层，例如平均硬度为 50 到 120HV20，那么可用氩气作为载体气体，不再添加能增加硬度的合金成分，还可以结合喷涂使涂层具有较高的孔隙度，例如以体积计大于 20%。孔隙度可使涂层具有柔软的性质，因为它能在强烈的局部载荷下屈服。

耐磨层特别是在最里面的最硬的耐磨层的厚度可根据气缸元件的期望寿命来选定，该厚度可选择得比气缸元件使用寿命期间涂层的最高期望磨耗适当大些。这一点特别适用于缸套、活塞、活塞裙部和不以铸铁为基体材料的活塞环。如果活塞环的基体材料为铸铁，那么在使用寿命期间，整个耐磨层被磨掉，虽可接受，但并不特别理想。这样总的耐磨涂层的厚度例如可为 2 或 3mm。

说明书附图

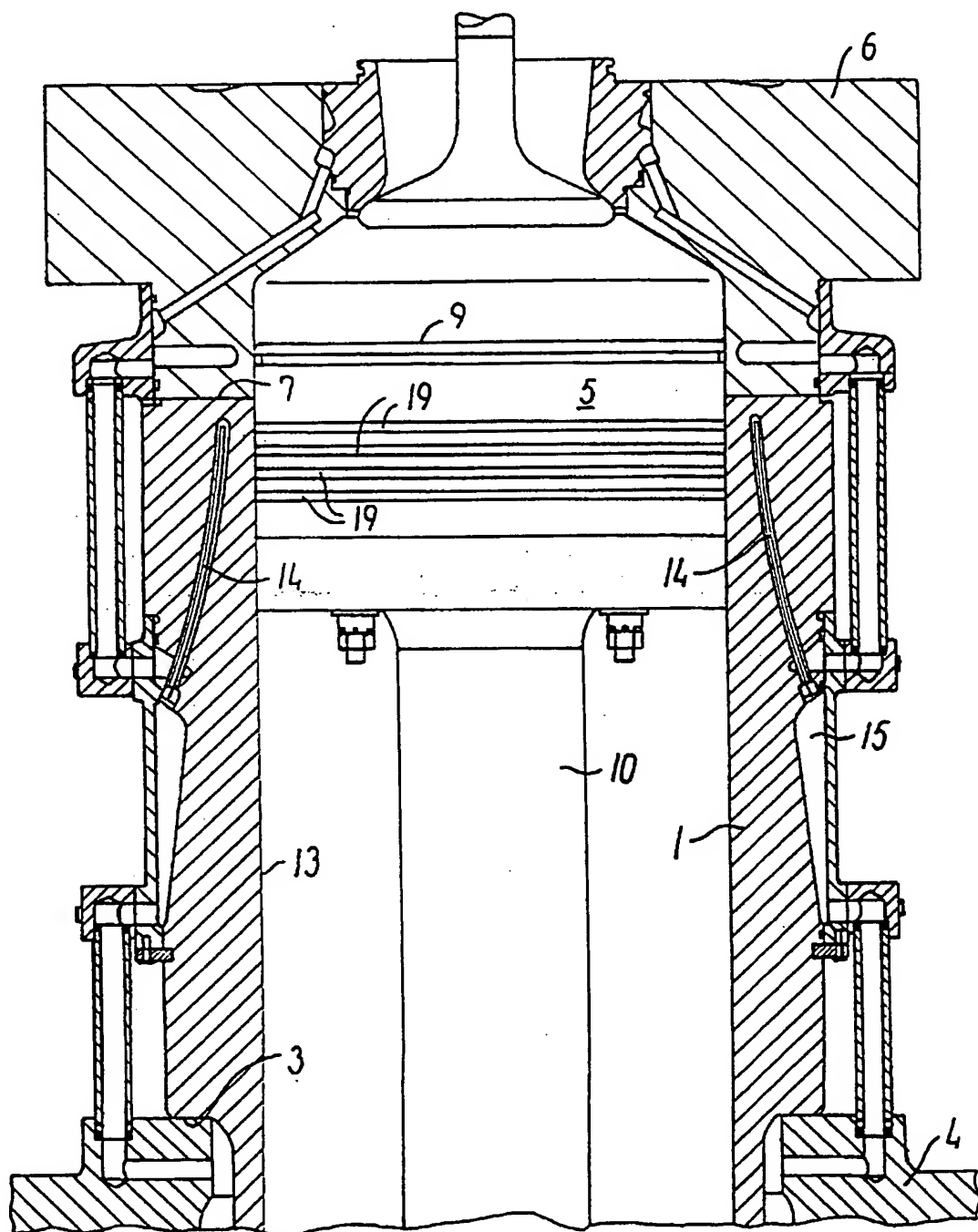


图 1

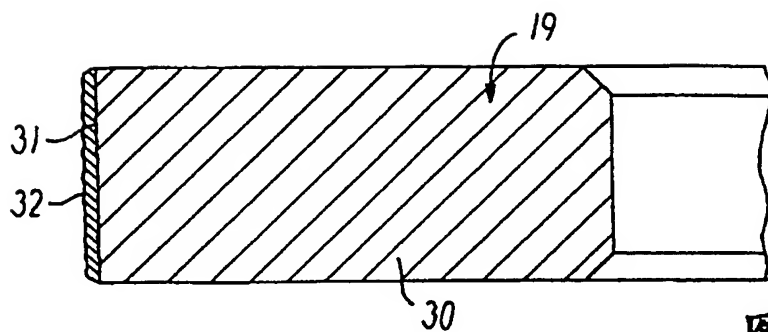


图 2

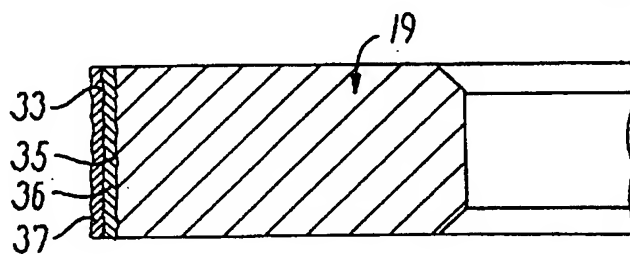


图 3

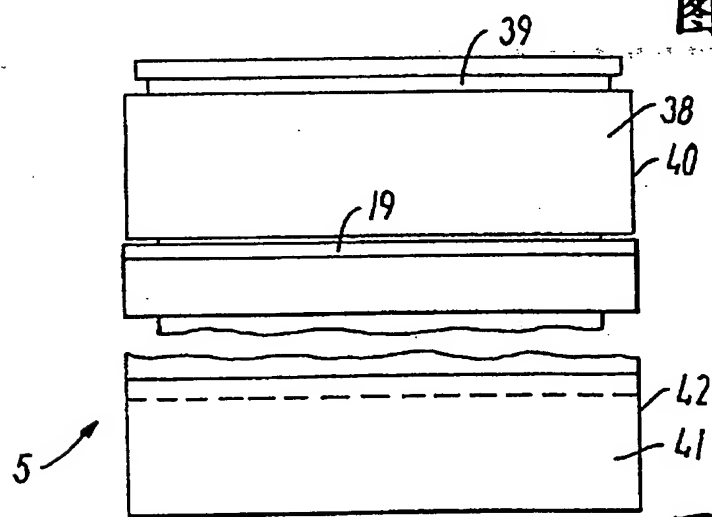


图 4

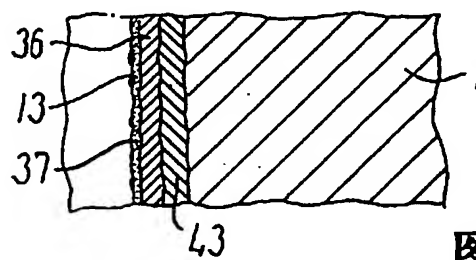


图 5